

明 細 書

コヒーレント光源および光学装置

技術分野

[0001] 本発明は、光導波路デバイスを用いたコヒーレント光源、および光学装置に関する。

背景技術

[0002] 半導体レーザは、小型、高出力であり、電気-光間の変換効率が40%を越える高効率変換が可能である。半導体レーザは光導波路構造をとり、光導波路内での光の閉じ込めを利用して高効率化を図っている。しかしながら、この光の閉じ込めによって、半導体レーザの高出力化が制限されてしまう。これは、光導波路内でのパワー密度が高くなると、出射部近傍でのパワー密度も高くなり端面破壊を引き起こすため、また、信頼性が劣化するためである。これらを解決するには、半導体レーザの光のパワー密度を低減することが有効である。よって、光を閉じ込める光導波路の断面積を大きくして光のパワー密度を低減し、高出力化を行なっている。このような半導体レーザはワイドストライプの半導体レーザ(以下、半導体レーザとする)と言われ、数100mW〜数Wの高出力特性が実現されている。

一方、半導体レーザにおいて、光導波路内を伝搬する光をシングルモードに保つことが難しく、光の電界分布は、複数のマルチモードの存在により不均一となる。また、半導体レーザは、通常光ディスクや光通信に利用されるシングルモードの半導体レーザとは異なり、集光特性が大きく低下する。また、複数のモードが存在するため、半導体レーザが発振する縦モードに関してもマルチ化し、複数の半波長スペクトルが存在するため、単一波長での発振が難しくなる。このため、空間的にも時間的にもコヒーレンスが劣化しており、シングルモードのファイバーや光導波路デバイスへの応用は困難であった。

これらの問題を解決する方法として、半導体レーザに光フィードバックをかける方法が提案されている。半導体レーザの導波モードは、外部からの光フィードバックで制御可能である。例えば、狭帯域の波長選択フィルターやファイバークレーティングで

半導体レーザの出射光を波長選択した後、半導体レーザの共振器内にフィードバックすることで、半導体レーザの発振波長を固定できることが示されている(例えば、非特許文献1参照)。また、半導体レーザの横モードの制御も可能であり、非線形ミラーにより外部から光を返すことで、半導体レーザをシングルモード発振する方法が提案されている(例えば、非特許文献2参照)。

非特許文献1: Optics Letters, vol.22, No.16, pp.1250-1252 (1997)

非特許文献2: Optics Letters, vol.23, No.11, pp.825-827 (1998)

発明の開示

[0003] しかしながら、非特許文献1などの方法では、高出力な半導体レーザの光導波路構造はワイドストライプ構造をとるため、発生する光は発振波長に影響する縦モードのみならず、出射光の電界分布である横モードにも、同時にマルチモード状態となる。従来の光フィードバックでは、このような高出力なワイドストライプの半導体レーザに対して、縦モードにおけるシングルモードは実現可能であるが、横モードにおけるシングルモードを実現することができないという問題があった。このため、シングルモードの光導波路デバイスと半導体レーザの結合が極端に低下してしまうという問題があった。

一方、非特許文献2などの方法では、非線形ミラーは効率が低いため、効率をよくするためには非常に高いパワーを必要とする。さらに、光学系が複雑になり、小型化、安定化が難しいという問題があった。

そこで、本発明のコヒーレント光源は、ワイドストライプの半導体レーザと、半導体レーザからの光をビーム整形するモード変換器と、半導体レーザからの光がモード変換器を介して結合されるシングルモード導波路と、シングルモード導波路を通過した光の一部を半導体レーザの活性層にフィードバックさせる波長選択フィルターとを備える。半導体レーザの発振モードは、フィードバックした光により制限されることを特徴とする。

これにより、半導体レーザとシングルモード導波路との高効率結合が実現でき、高い光変換効率を実現できる。

さらに、本発明のコヒーレント光源において、シングルモード導波路に結合した光の

一部は、シングルモード導波路の出射端面においても反射され、半導体レーザの活性層にフィードバックされることを特徴とする。

また、波長選択フィルターは、バンドパスフィルターと反射体から構成されていてもよく、シングルモード導波路を通過した光は、バンドパスフィルターを通った後、その一部が反射体に反射されて、半導体レーザの活性層にフィードバックすることを特徴とする。

これにより、ワイドストライプレーザの横モード制御が可能となり、シングルモード導波路との高効率結合が実現できる。

バンドパスフィルターと反射体は、ブラッグ反射グレーティングとしてシングルモード導波路に一体化して形成されていてもよい。

また、波長選択フィルターが、体積グレーティングから構成されていてもよく、ファイバグレーティングであってもよい。

これらによっても、ワイドストライプレーザの横モード制御が可能となる。

また、波長選択フィルターは、ブラッグ反射グレーティングとして半導体レーザに一体化して形成されていてもよい。

これにより、ブラッグ回折の効果を強化でき、半導体レーザの出力変調を高速化できる。

本発明のコヒーレント光源において、モード変換器は、テーパ導波路であることを特徴とする。また、テーパファイバーであってもよい。

これらにより、高出力のシングルモード光の発生が可能となる。

本発明のコヒーレント光源において、シングルモード導波路は、周期状の分極反転構造を有し、半導体レーザからの光の一部が分極反転構造により波長変換されることを特徴とする。

これにより、高効率で波長を変換することができる。

本発明のコヒーレント光源は、ワイドストライプの半導体レーザと、半導体レーザからの光が結合される入射端面を有するテーパ導波路と、テーパ導波路の出射端面側に形成されたシングルモード導波路と、シングルモード導波路からの光の一部を通過させるバンドパスフィルターと、バンドパスフィルターを通過した光を反射して、半導

体レーザの活性層にフィードバックする反射体とを備える。半導体レーザの発振モードは、フィードバックした光により制限されることを特徴とする。

これにより、ワイドストライプレーザの横モード制御が可能となり、シングルモード導波路との高効率結合が実現できる。

バンドパスフィルターは、ブラッグ反射グレーティングとしてシングルモード導波路に一体化して形成されていてもよい。

また、シングルモード導波路は、非線形光学材料からなり、周期状の分極反転構造を有し、半導体レーザからの光は、分極反転構造により波長変換されていることを特徴とする。

これにより、高効率で波長を変換することができる。

シングルモード導波路は、非線形光学材料からなり、周期状の分極反転構造を有し、半導体レーザからの光の一部が分極反転構造により波長変換されていることを特徴とする。

これにより、高効率で波長を変換することができる。

また、シングルモード導波路の出射端面が、基本波を反射し、かつ高調波透過するダイクロイックミラーを有することを特徴とする。

これにより、高調波をコヒーレント光源の外部に出すことができる。

ワイドストライプの半導体レーザの活性層幅は、 $100\ \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

。

これにより、半導体レーザと光導波路デバイスとの結合を確保できる。

半導体レーザの横モードが、波長選択フィルターからの反射光により、ほぼシングルモード発振に固定されていることを特徴とする。

これにより、横モードにおいてもシングルモードの実現が可能となる。

本発明の光学装置は、上記いずれかのコヒーレント光源と画像変換光学系とを有し、コヒーレント光源からの光を光学系により2次元画像に変換することを特徴とする。

画像変換光学系は、2次元のビーム走査光学系を有することが好ましく、また、2次元スイッチを有することが好ましい。

以上のように、本発明は、ワイドストライプの半導体レーザを、光フィードバックにより

縦モードおよび横モードを同時にシングルモードに近い発振状態に制御し、シングルモード導波路との高効率結合を実現するものである。

図面の簡単な説明

[0004] [図1]本発明の第1実施形態に係るコヒーレント光源の構成例を示す図。

[図2] (a) 本発明に係るワイドストライプの半導体レーザの断面を示す図。 (b) マルチモード発振時のワイドストライプの半導体レーザの電界強度分布を示す図。

(c) シングルモード発振時のワイドストライプの半導体レーザの電界強度分布を示す図。

[図3]本発明の第1実施形態に係るコヒーレント光源の他の構成例を示す図。

[図4]本発明に係る体積グレーティングの透過特性を示す図。

[図5]本発明の第2実施形態に係るコヒーレント光源の構成例を示す図。

[図6]本発明の第3実施形態に係るコヒーレント光源の構成例を示す図。

[図7]本発明の第3実施形態に係るコヒーレント光源の他の構成例を示す図。

[図8]本発明の第4実施形態に係るコヒーレント光源の構成例を示す図。

[図9]本発明の第5実施形態に係るコヒーレント光源の構成例を示す図。

[図10]本発明に係る光学装置の例を示す図。

[図11]本発明に係る光学装置の他の例を示す図。

符号の説明

- [0005] 101、301、401、501、601、701 半導体レーザ
102 モード変換器
103、304、404、509、605、704 シングルモード導波路
104、510、610 バンドパスフィルター
105、513、902、903 反射体
120、620 体積グレーディング
300 光導波路デバイス
303、402、503、604、703 テーパー導波路
305、405、408、708 ブラッグ反射グレーティング
406、506、603 分極反転

407、707 ファイバー
511、611 ダイクロイックミラー
512 高調波
606 反射膜
709 テーパーファイバー
801、901 光源
802 2次元スイッチ
803 プリズム
804 レンズ
805 RGBレーザ
807 回折素子
904 レーザ光
905 スクリーン

発明を実施するための最良の形態

[0006] ワイドストライプの半導体レーザをシングルモードで発振できた場合、2つの利点がある。一つ目は、半導体レーザとシングルモードの光導波路デバイスとの結合効率向上である。ワイドストライプの半導体レーザは、赤色半導体レーザと比較して、高出力である。例えば、波長650〜680nmの赤色半導体レーザの出力は、CW出力で70mW程度、800nm帯で150mW程度、980nm帯で500mW程度である。これに対して、ワイドストライプの半導体レーザの出力は、数100mWから数Wと、赤色半導体レーザと比較して一桁以上高い出力が可能である。ところが、シングルモード導波路との結合を考えると、ワイドストライプの半導体レーザは殆ど利用できない。シングルモードの半導体レーザの場合、シングルモード導波路と50〜80%の高効率で結合可能であるが、ワイドストライプの半導体レーザの場合、数%の結合効率しか達成できない。半導体レーザの高出力化は、光導波路断面積に影響されるため、横モードがシングルモードの半導体レーザの高出力化には限界が生じるのである。さらに、ワイドストライプの半導体レーザの横モードは変動しやすいため、光導波路との結合も大きく変動して不安定になってしまう。これに対して、本発明の構成は、ワイドストライプ

の半導体レーザとシングルモードの光導波路デバイスとを高効率で結合可能となるため、光導波路デバイスのシングルモード導波路に高出力の光を導波させることが可能となる。さらに、半導体レーザの波長および光導波路との結合状態を安定に保つことができるため、低ノイズで安定な特性を実現できる。

利点の二つ目は、高出力のシングルモード半導体レーザ光源の実現である。半導体レーザの高出力化を困難にする他の要因に、半導体レーザでの端面劣化がある。半導体レーザを導波する光のパワー密度が増大すると、半導体レーザの端面近傍で光破壊による端面劣化が生じる。これは、半導体レーザを構成している結晶の僅かな光吸収に伴う発熱によるものである。これを防止するために、半導体レーザの光導波路サイズを拡大してパワー密度を低減し高出力化を可能にしたのが、ワイドストライプの半導体レーザである。ところが、ワイドストライプの半導体レーザは、縦モード、横モード共にマルチモードのため、ノイズが大きく、結合が劣化し不安定になるといった問題がある。これに対して、本発明の構成は、主として波長選択とモード選択を同時に行なった光を半導体レーザにフィードバックする。具体的には、横モードを制御するモード変換器と波長選択フィルターにより、半導体レーザから出た光を波長選択とモード選択した後、光を活性層にフィードバックする構成をとる。以下、この現象を利用したコヒーレント光源の例について、詳しく説明する。

〔第1実施形態〕

図1は、本発明のコヒーレント光源の構成図である。半導体レーザ101から出射した光は、モード変換器102によりビーム整形され、シングルモード導波路103に入射する。シングルモード導波路103の光導波路を通った光の一部は、バンドパスフィルター104を通った後反射体105で反射され、同じ出射経路を通過して半導体レーザ101の活性層にフィードバックする。また、シングルモード導波路103に結合した光の一部は、シングルモード導波路の出射端面においても反射され、半導体レーザの活性層にフィードバックされる。ここで、バンドパスフィルター104と反射体105は、波長選択フィルターを構成する。

ワイドストライプレーザの場合、横モードがマルチモードのため、出力される光のニアフィールドパターン(NFP)は、図2(b)に示すような強度分布を持った光となる。一

般にモード変換器は、横モードがシングルモードの光に対しては有効であるが、図2(b)のようなランダムな強度分布を持った光を、シングルモード導波路の伝搬ビームに近い形には成形できない。このため、モード変換器102を通して、半導体レーザ101とシングルモード導波路103との結合効率は10%以下になる。これに対して、バンドパスフィルターおよびモード変換器を通った光をフィードバックさせると、NFPは図2(c)の形に成形される。これによって、モード変換器102によって変換された光は、シングルモード導波路103に50%以上の高効率で結合することが可能となる。即ち、モード変換器102と波長フィルター104を介して光フィードバックを行うことで、ワイドストライプレーザの横モード制御が可能となり、シングルモード導波路との高効率結合が実現した。

次に、本実施形態の構成で、高効率結合が実現される原理について説明する。通常ファブリペロー半導体レーザ(以下、FP-LDとする)は、広いゲイン(利得)を持っている。例えば、シングルモードのFP-LDにおいて、光導波路を伝搬する横モードは固定(シングルモード)であるが、広いゲインの波長範囲で発振が可能である。この発振波長を決定するのは、半導体レーザのロス(損失)とゲインである。半導体レーザは、最もロスが少なく、ゲインの大きな波長で発振する。グレーティングフィードバック等により半導体レーザの発振波長を可変する方法は、この特性を利用している。半導体レーザの発振可能な広い波長領域において、特定の波長(ゲインの範囲内)をフィードバックすると、フィードバック波長の光が共振器内で増加するため、見かけ上、フィードバック波長の伝搬ロスが他の波長に比べて低減する。これによって最もロスの少ない、フィードバック波長が、半導体レーザの発振波長となって固定される。

半導体レーザの発振がロスとゲインの関係より決定される原理を利用して、ワイドストライプのFP-LDの縦モード、および横モードを制御する方法を提案するのが、本発明の構成である。ワイドストライプのFP-LDは光導波路幅が広いため、横モードがマルチモードである。このため、縦モード、横モード共に広い発振範囲をもっている。半導体レーザに特定の波長、および特定の横モードに選択的に光フィードバックをかけることで、ワイドストライプレーザの横モード、縦モード、発振波長を制御することが可能となる。

横モードに関しても発振モードと同様に、横モードがシングルモードで発振した場合に最も強い光フィードバックがかかるように設計することで、半導体レーザの横モードを選択的に励起できる。このため、横モードに関しては、モード変換器を介してのフィードバックが有効である。モード変換器はプリズムを組み合わせたもので、ワイドストライプレーザの大きなアスペクト比をもつ発振モードを、シングルモード導波路のアスペクト比にあわせる役目を持つ。モード変換器によって、半導体レーザの横モードがシングルモードで発振した場合に、シングルモード導波路と最も高い結合効率を実現できる。従って、半導体レーザの横モードがシングルモードで発振した場合に、シングルモード導波路と最も強く結合し、結合した光が光導波路を通って、外部反射体により反射されて、再び半導体レーザにフィードバックする。即ち、半導体レーザの発振がシングルモードのとき、半導体レーザ活性層内の光パワー密度が最も高くなる。このため、半導体レーザの横モードがシングルモードを選択的に励起する状態となる。

<変形例1>

シングルモード導波路に、周期状の分極反転構造を形成し、それにより半導体レーザからの光の一部が波長変換される構造であってもよい。

<変形例2>

シングルモード導波路とバンドパスフィルターの間に、ダイクロイックミラーを配置した構成を取ってもよい。その際、高調波に波長変換された光は、ダイクロイックミラーで反射され外部に出射される。この動作については、後の実施形態で詳しく述べる。

<変形例3>

波長選択フィルターが、体積グレーディングから構成されていてもよい。図3にその例を示す。図3(a)は、コリメートレンズ110を介して体積グレーディング120が配置された例、図3(b)は、シングルモード導波路103と体積グレーディング120が直接結合している例である。

体積グレーディングとは、周期的な屈折率変化を有するバルク材料である。紫外線硬化材料を主成分とする材料からなり、光の干渉を利用してバルク内にグレーディング構造を形成する。バルク内に形成した周期状の屈折率グレーディングによるブラッグ反射により、半値幅の狭い狭帯域の反射特性を有する。図4に、体積グレーティン

グの透過特性を示す。波長変換素子の位相整合波長 λ 近傍で、ブラッグ反射による狭帯域の反射特性が示されている。半導体レーザの波長を固定するためには、ブラッグ反射の半値幅 $\Delta\lambda$ は0.6nm以下が好ましい。さらに、好ましくは0.2nm以下がよい。0.2nm以下にすることで半導体レーザの波長安定化が図られ、波長変換等を利用する場合に安定な出力特性が得られる。

さらに、波長変換素子と組み合わせて利用する場合は、高次のブラッグ反射についても考慮する必要がある。図4に示すように、体積グレーティングの高次モードとして、 $\lambda/2$ 近傍にも高次のブラッグ反射が発生する。本発明の構成に利用するために、波長 λ の光に対しては狭帯域の反射特性を、高調波である $\lambda/2$ の波長に対しては透明となる必要がある。このためには、高次のブラッグ反射である $\lambda/2$ 近傍の反射と高調波の波長をわずかにずらさなければならない。それには、体積グレーティングを構成する材料の屈折率分散を利用することが好ましい。これにより、屈折率分散を大きな材料を用いること、波長 λ と波長 $\lambda/2$ の屈折率を変えることが可能となり、ブラッグ反射波長をずらすことができる。波長変換素子の位相整合波長許容度の半値幅は位相整合波長の0.1%であるため、波長 λ の光に対する体積グレーティングの屈折率 n_1 と波長 $\lambda/2$ に対する屈折率 n_2 の差 $(n_2 - n_1)/n_1$ は、0.2%以上にするのが好ましい。これにより、高次のブラッグ反射と高調波の波長をずらすことができる。さらに好ましくは0.5%以上がよい。0.5%以上の屈折率差があれば、高次のブラッグ反射の影響をほとんどなくすることができる。

[第2実施形態]

しかしながら、実施の形態1で述べたようなモード変換器のみでは、十分にシングルモードを励起できないことも判明した。ワイドストライプの半導体レーザの場合、横モードのみならず縦モードも複数存在するので、波長の異なる横モードが複数存在し、縦モード、横モードをあわせたモードの数が非常に多くなる。この状態では、モード変換器のみでは他のモードとのロス之差が大きくとれない。半導体レーザは、最もロスの少ない状態に発振状態が固定されるが、複数のモードのロスとゲインの条件差が小さい場合、複数のモードが存在する不安定な状態になる。単一のモードを選択的に励起するには、他のモードに対して十分ロスが少ない状態、即ち、特定のモード

に対するフィードバックが他のモードに対して十分大きな状態をつくる必要がある。この問題を解決するため、本実施形態では、半導体レーザの発振波長を固定し、同時に横モードの選択性を持たせることで、発振可能な横モードの数を制限し、安定な横モードのシングル発振を実現する。

図5は、この原理を利用した本実施形態のコヒーレント光源の例である。光導波路デバイスは、ワイドストライプの半導体レーザ301の出射側に接合されたテーパ導波路303と、シングルモード導波路304とから構成される。シングルモード導波路304には、波長選択フィルターがブラッグ反射グレーティング305として一体化して構成されている。半導体レーザ301から出射した光は、テーパ導波路303に結合した後、シングルモード導波路304を伝搬する。シングルモード導波路304に結合した光は、ブラッグ反射グレーティング305により反射されて、半導体レーザ301にフィードバックする。半導体レーザ301の横モードは、最もフィードバックの大きなモードに自動的に固定される。即ち、半導体レーザ301からテーパ導波路303を通して、シングルモード導波路304に最大に結合するとき、シングルモード導波路304のブラッグ反射からの反射光が最大となり、半導体レーザ301の光フィードバックが最も大きくなる。このため、半導体レーザ301の発振横モードは、シングルモード導波路304に最もよく結合するモードに自動的に固定される。

テーパ導波路の材質としては、半導体レーザの発振波長に対して透明な材質を用いる。例えば、 LiNbO_3 、 LiTaO_3 、 SiO_2 、 GaN 、 Al_2O_3 等の透明度の高い物質である。テーパ導波路の出射部では、導波光のパワーは非常に高くなるが、吸収の少ない材料を用いることで端面劣化を防止することが可能となる。

光導波路モードの解析を行なった結果、テーパ導波路を介してシングルモード導波路との結合が最大となるのは、半導体レーザの横モードがほぼシングルモードに近い場合である。図2はワイドストライプのFP-LDの端面での横モード(幅方向)の電界強度分布を示したものである。通常の状態では図2(b)に示すような横モードがマルチモード状態で発振している。これに対し、本発明の構成をとれば、図2(c)に示すような、横モードがほぼシングルモードで発振していることがわかった。

また、さらにシングルモード導波路を伝搬する導波光は、電界分布の状態が単一な

ため、実効屈折率が一義的に決定される。このため、ブラッグ反射グレーティングによって反射されるモードは単一となり、半導体レーザにフィードバックする波長、モード共に一つに固定される。よって、半導体レーザの発振は、縦モード、横モードともにほぼシングルの状態となり、非常に安定に動作する。

以上のように、ワイドストライプの半導体レーザとテーパ導波路をハイブリッド構造とすることで、高出力のシングルモード光源を実現できる。また、ブラッグ反射を利用することで、縦モード、横モードともにシングルモード状態に固定することが可能となり、低ノイズ、高出力、縦横モードシングル、安定な光源を実現できる。

このような構成は、高出力化に有利である。半導体レーザは前述したように、光導波路内のパワー密度の増大により端面破壊、信頼性の劣化等が発生するため、シングルモードでの高出力化が難しい。これに対して、誘電体の光導波路はロスが小さく、高出力耐性に優れる。また屈折率等の制御が容易なため、比較的大きな形状のシングルモード導波路の形成も可能である。このため、光導波路によりシングルモード化が可能になれば、ビーム品質の高い高出力コヒーレント光源が実現できる。さらに、光導波路に機能素子を集積化することで、高機能な素子を実現できる。

また、半導体レーザと光導波路を接合することで、複合キャビティが構成されるといふ問題が発生する。複合キャビティは、半導体レーザの両端面から構成される共振器と、ブラッグ反射器を含む共振器からなる。さらに、光導波路の端面反射も共振器を構成する。共振器が複数存在すると発振モードが不安定になるため、光導波路の出射端面は斜めにし、出射端面からの反射を防止するのが、好ましい。

また、半導体レーザの光導波路と結合する側の出射端面は、ブラッグ反射器からの戻り光を活性層内に十分フィードバックするため、反射率を1%以下に抑えるのが好ましい。

一方、半導体レーザの共振器とブラッグ反射との共振関係から、縦モードの選択性は向上する。半導体レーザの共振器長が短いため、縦モードの間隔は比較的大きい。このため、ブラッグ反射器の反射スペクトルの幅が数Å程度であっても、十分な縦モードの制御が可能となる。また、半導体レーザの共振器とブラッグ反射器との共振器により複合共振器構造となるため、振波長の狭帯域化が図ることができる。

なお、本発明の構成では、半導体レーザからの光をシングルモード導波路から取り出す構成を示したが、半導体レーザの後端面側から出射するのも可能である。この場合は、ブラッグ反射器の反射率を50%以上とし、半導体レーザ側から効率良く光を取り出す必要がある。半導体レーザに導波路素子を集積化することで、高出力のシングルモード励起半導体レーザが構成できる。

なお、ワイドストライプの半導体レーザの活性層幅は100 μm 以下が望ましい。ここで、活性層幅とは、ワイドストライプ幅と同義である。シングルモード導波路の幅は数 μm から10 μm 程度であるため、シングルモード導波路の幅と半導体レーザのモード幅の差が大きすぎると、テーパ導波路によるシングルモード導波路の変換効率が低下する。さらに望ましくは20 μm 以下がよい。20 μm 以下であれば、効率80%以上でシングルモード導波路と結合できる。

[第3実施形態]

本実施形態では、本発明の構成を波長変換素子に適用した例を説明する。

非線形光学効果を利用した波長変換素子は、半導体レーザの光を短波長の高調波に変換できる。このため、高出力化が容易で、信頼性の高い赤外半導体レーザを用いて、小型の高出力短波長光源が実現できる。

高効率変換が可能な波長変換素子としては、周期状の分極反転構造からなる擬似位相整合型の波長変換素子がある。非線形光学材料としては、Mgドープの LiNbO_3 、 LiTaO_3 、または KTiOPO_4 等がある。分極反転構造を変えることで任意の波長変換が可能であり、高効率変換が行える。さらに、光導波路構造にすることで、より高い変換効率が実現できる。しかしながら、波長変換素子は、変換可能な波長の許容度が非常に狭い。例えば10mm程度の素子長の場合、波長許容度は0.1nm程度である。このため、変換可能な波長は0.1nm以下の発振スペクトルを有し、かつシングルモード導波路が必要となる。従って、縦モード、横モード共にシングルモードであることが要求される。本発明の構成は、波長変換素子への応用に最適である。

図6は、本実施形態のコヒーレント光源の構成図を示したものである。図6(a)において、ワイドストライプの半導体レーザ401はテーパ導波路402に直接結合している。半導体レーザ401からの光は、テーパ導波路402を通過してシングルモード導波路4

04に結合する。シングルモード導波路404には、ブラッグ反射グレーティング405が形成されており、波長選択された光は、一部半導体レーザ401にフィードバックする。これによって、半導体レーザ401はシングル縦モードかつシングル横モード発振となり、シングルモード導波路404に効率よく結合する。シングルモード導波路404には、周期的な分極反転構造406が形成されており、ブラッグ反射グレーティング405により反射されなかった光は、分極反転構造406で波長が出射光の半分の第2高調波に変換される。例えば、波長880nmの半導体レーザを500mWで駆動すれば、波長変換素子により変換され300mW程度の440nmの青色光が実現できる。

このような構成は、幾つかの方式に適用可能である。例えば、図6(a)のブラッグ反射グレーティングの位置は、分極反転構造406の後ろ、出射端面近傍でもよい。この場合、半導体レーザの光がより多く分極反転部を透過するので、変換効率が向上して好ましい。

また、図6(b)に示すように、分極反転構造406をブラッグ反射グレーティングとして利用することも可能である。分極反転構造は高電圧の印加により結晶の方向を強制的に反転させるが、その際に分極壁に残る歪みにより僅かな屈折率変化が生じる。この特性を利用して、分極反転構造を周期的な屈折率変化として利用し、ブラッグ反射グレーティングが構成できる。ただし、この場合、ブラッグ波長と波長変換のための位相整合波長を整合させる必要があるので、利用できる変換波長は限られる。

さらに、波長選択フィルターとして図6(c)に示すファイバグレーティングを利用することも可能である。ファイバグレーティングは高精度な波長制御が可能であり、またファイバグレーティング部分の温度を制御することで、半導体レーザの発振波長が制御できる。これによって、半導体レーザの発振波長を波長変換素子の位相整合波長に調整することができる。ファイバー407により距離をとれば、温度が伝わらず、安定に波長制御ができる。また、波長変換された光をファイバー407から取り出せるという利点も有する。

また、図7に示すような、バンドパスフィルター510を用いた構成も利用できる。ここで、バンドパスフィルター510は狭帯域のバンドパスフィルターであり、透過波長幅が $0.2\mu\text{m}$ 程度、透過率が80%程度のものが実現できている。狭帯域フィルターを用

いと、集積化した場合に比べて、小型化では不利であるが、調整が容易という利点を有する。なお、バンドパスフィルター510は、多層膜であってもよい。

まず、図7(a)の構成について説明する。波長880nmの半導体レーザ501から出た光は、テーパ導波路503を通過してシングルモード導波路509に結合する。シングルモード導波路509に結合した光は、周期状の分極反転構造506によって高調波に変換される。変換されなかった光はシングルモード導波路509から出射し、バンドパスフィルター510を通過してダイクロイックミラー511により反射される。バンドパスフィルター510の特性としては、基本波に対しては波長 $880\text{nm} \pm 0.1\text{nm}$ で80%以上の透過率を有する。一方、ダイクロイックミラー511は880nmの光は95%透過し、440nmの光は95%以上反射する。このため、高調波は、ダイクロイックミラー511で反射されて高調波512となって出射される。一方、波長880nmの基本波は、バンドパスフィルター510で波長選択された後、反射体513で反射されて、再び、同じ経路を通過して半導体レーザ501の活性層にフィードバックする。バンドパスフィルター510およびテーパ導波路503により横モード、縦モードともに選択されることで、半導体レーザ501は、横モード、縦モードともにシングルモードに固定され、シングルモード導波路509との安定した高効率結合を実現できた。高効率で変換するための半導体レーザの発振波長を位相整合波長に調整する必要があるが、バンドパスフィルター510の角度を変えることで、フィルターの透過波長が可変できる。半導体レーザの出力500mW、結合効率は60%であり、高調波として150mWの出力が得られた。波長安定性、結合の安定性に優れるため、安定な高出力変換が実現できた。

次に、図7(b)の構成について説明する。ここでは、図7(a)の構成をさらに単純化し、部品点数の削減および、光学系をシンプルにしている。波長880nmの半導体レーザ501から出た光は、テーパ導波路503を通過してシングルモード導波路509に結合する。結合した光は、周期状の分極反転構造506によって高調波に変換される。変換されなかった光は光導波路から出射し、バンドパスフィルター510を通過してダイクロイックミラー511により反射される。バンドパスフィルター510の特性としては、基本波に対しては波長 $880\text{nm} \pm 0.1\text{nm}$ で80%以上の透過率を有する。一方、波長440nmの高調波に対しては85%以上の透過率を持つ。ダイクロイックミラー511は880nm

mの光を99%反射し、440nmの光を95%以上透過する。このため、高調波は、バンドパスフィルター510、ダイクロイックミラー511を透過して高調波512となって出射される。一方、波長880nmの基本波は、バンドパスフィルター510で波長選択された後、ダイクロイックミラー511で反射されて、再び、光導波路509に入射し、半導体レーザ501の活性層にフィードバックする。バンドパスフィルター510およびテーパ導波路503により横モード、縦モードともに選択されることで、半導体レーザ501は、横モード、縦モードともにシングルモードに固定され、安定した高効率結合をシングルモード導波路509と実現できた。半導体レーザの出力は500mW、結合効率は60%であり、高調波として120mWの出力が得られた。また、部品点数が削減でき、かつ光学系も直線光学系のため調整が容易になり、小型化、安定化が実現できた。

[第4実施形態]

図8は、本発明の他のコヒーレント光源の例を示す図である。

ここでは、波長選択フィルターとしてのブラッグ反射グレーティングを、半導体レーザに集積化した。ブラッグ反射グレーティングを半導体レーザに集積することで、ブラッグ回折の効果を強化できるため、半導体レーザの出力変調を高速化できる。

図8(a)において、ワイドストライプの半導体レーザ601から出た光は、テーパ導波路604を介してシングルモード導波路605と結合する。シングルモード導波路605を伝搬する光は、周期状の分極反転構造603により高調波に変換される。導波路605端面に形成した反射膜606は誘電体の多層膜から構成され、高調波は95%以上透過、基本波は80%以上反射する構成となっている。反射された基本波は、再び半導体レーザ601の活性層に結合する。半導体レーザ601に設けたブラッグ反射グレーティングにより波長選択され、テーパ導波路604とシングルモード導波路605によりモード選択されることで、半導体レーザ601は横モードおよび縦モードともに、シングルモード発振する。これによって、高効率な波長変換が達成できる。また、構造が単純なため、小型化が容易であり安定性も高い。

さらに、コヒーレント光源は、導波路605端面にバンドパスフィルター610とダイクロイックミラー611を形成した図8(b)に示す構成、あるいは、導波路端面に体積グレーティング620を形成した図8(c)に示す構成であってもよい。

以上のように、グレーティングを半導体レーザに集積することで高速な出力変調も可能となった。

[第5実施形態]

図9は、本発明の他のコヒーレント光源の例を示す図である。

ここでは、ブラッグ反射グレーティングを形成したファイバークレーティングを用いた構成を示す。図9(a)は、テーパ導波路703とシングルモード導波路704を介して、ワイドストライプの半導体レーザ701にシングルモードファイバー707を結合した構成を示す。ファイバー707には、ブラッグ反射グレーティング708が形成されており、半導体レーザ701に、ブラッグ反射グレーティング708からの反射光がフィードバックする。このフィードバック光により半導体レーザ701の横モード、および縦モードがシングルモードに固定される。図9(b)に示すように、テーパファイバー709も同様に用いることができる。半導体レーザ701からの出力としては、ファーマー側、または半導体レーザの後端面からの出力が可能である。

[第6実施形態]

ここでは、本発明のコヒーレント光源を用いた光学装置として、レーザディスプレイについて説明する。

レーザディスプレイでは、RGBレーザを用いれば色再現性の高いディスプレイが実現できる。レーザ光源としては、赤色は、高出力の半導体レーザが開発されている。しかし、青色は高出力化が実現しておらず、緑色は半導体レーザの形成そのものが難しい。そこで波長変換を利用した青および緑色光源が必要となる。本発明のコヒーレント光源において、ワイドストライプの半導体レーザが利用できるため、波長変換素子と組み合わせて高出力の青、緑色光が実現できる。青色出力としては、880nmの半導体レーザを波長変換して440nmの青色光を、緑色出力としては、1060nmの半導体レーザを波長変換して530nmの緑色光を実現できる。

これらの光源を一体化し、803のプリズムを介して802の2次元スイッチに投射、スイッチングされた光をレンズ804でスクリーンに投射することで2次元画像が投射できる。(図10)。2次元スイッチ802としては、マイクロマシーンを利用したMEMSや、液晶スイッチ等が利用できる。出力は、スクリーンサイズによるものの、数10mWから数

100mW程度が必要である。以上のように、本発明のコヒーレント光源により小型の短波長光源が実現でき、レーザディスプレイの小型化、高効率化が可能となる。

レーザディスプレイ装置として、図11に示す方式も有効である。レーザ光は、反射体902と反射体903で走査することによりスクリーン上に2次元的な画像を描く。この場合、レーザ光源に高速なスイッチ機能が必要であり、半導体レーザの出力を変調することで、高速出力変調が可能となる。本発明のコヒーレント光源は、高出力化が可能であり、レーザディスプレイ用途に有望である。また光フィードバックによりワイドストライブレーザでありながら、縦モード、横モードともにシングルモードに固定されているため、レーザの出力変調を高速で行える。これによって、走査型のレーザディスプレイが実現できる。

以上、導波型光デバイスにSHG素子を用いた例を挙げて、本発明の実施の形態を説明した。SHG素子を用いた光源では半導体レーザとして高出力の半導体レーザを用いることが多いため、高出力レーザとしてワイドストライプの半導体レーザを利用できれば、小型高出力の光源が実現できる。そのため、本発明の構造を用いることで、高出力化、安定化が実現できる。

なお、導波型光デバイスは、特にSHG素子に限らない。例えば、高速変調素子や位相シフタ、周波数シフタ、偏光制御素子など、導波型光デバイスとして様々な機能、構成のものが考えられる。こうした導波型光デバイスとコヒーレント光源を用いた光学系全てに、本発明の導波型光デバイスを応用可能である。

また、光学装置として、レーザディスプレイについて説明したが、その他、光ディスク装置や、計測装置に対しても本発明は有効である。特に、光ディスク装置は、書き込み速度の高速化によりレーザ出力の向上が求められているため、本発明が有効である。さらに、レーザ光には回折限界の集光特性が求められるため、シングルモード化は必須である。本発明の光源は高出力かつ、高いコヒーレンスを有するため、光ディスク等への応用にも有効である。

以上述べたように、本発明のコヒーレント光源は、高出力化が容易なワイドストライブレーザに波長選択およびモード選択を加えたのち、光をフィードバックさせることで、ワイドストライブレーザの横モードおよび縦モードをシングルモード発振に固定するこ

とが可能となる。これによって、高出力のシングルモード発振レーザを実現できる。

産業上の利用可能性

[0007] 高出力のシングルモード発振レーザは、集光特性に優れかつコヒーレンスが高いため、回折限界までの集光が可能となり、光ディスク、レーザ加工あるいは光の回折を利用した計測装置、またシングルモード導波路を利用した各種光デバイスへの応用が可能となる。

さらに、本発明の高出力レーザを波長変換素子と共に用いると、高出力特性を利用した高効率かつ高出力の短波長光源が実現できる。

また、本発明のコヒーレント光源を用いれば、高出力の小型RGB光源が実現できるため、レーザディスプレイをはじめ、光ディスク装置等各種の光学装置への応用が可能となる。

請求の範囲

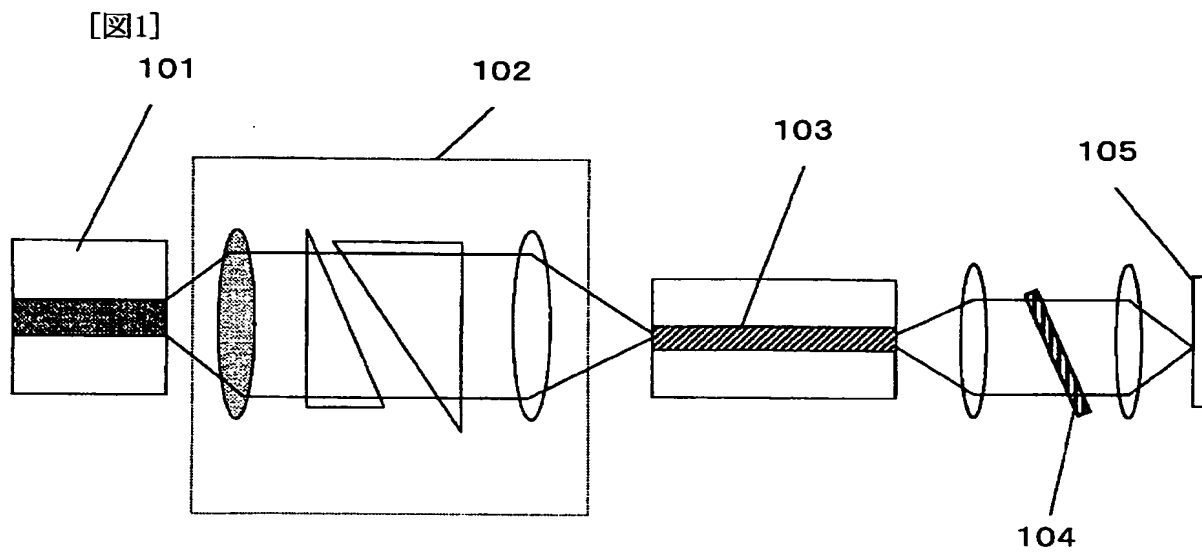
- [1] ワイドストライプの半導体レーザと、
前記半導体レーザからの光をビーム整形するモード変換器と、
前記半導体レーザからの光が前記モード変換器を介して結合されるシングルモード導波路と、
前記シングルモード導波路を通過した光の一部を前記半導体レーザの活性層にフィードバックさせる波長選択フィルターとを備え、
前記半導体レーザの発振モードは、前記フィードバックした光により制限されることを特徴とする、コヒーレント光源。
- [2] 前記シングルモード導波路に結合した光の一部は、前記シングルモード導波路の出射端面においても反射され、前記半導体レーザの活性層にフィードバックされることを特徴とする、請求項1記載のコヒーレント光源。
- [3] 前記波長選択フィルターが、バンドパスフィルターと反射体から構成され、
前記シングルモード導波路を通過した光は、前記バンドパスフィルターを通った後、その一部が前記反射体に反射されて、前記半導体レーザの活性層にフィードバックすることを特徴とする、請求項1または2記載のコヒーレント光源。
- [4] 前記バンドパスフィルターと前記反射体が、ブラッグ反射グレーティングとして前記シングルモード導波路に一体化して形成されていることを特徴とする、請求項3記載のコヒーレント光源。
- [5] 前記波長選択フィルターが、体積グレーティングから構成されることを特徴とする、請求項1記載のコヒーレント光源。
- [6] 前記波長選択フィルターが、ファイバグレーティングであることを特徴とする、請求項1記載のコヒーレント光源。
- [7] 前記波長選択フィルターが、ブラッグ反射グレーティングとして前記半導体レーザに一体化して形成されていることを特徴とする、請求項1記載のコヒーレント光源。
- [8] 前記モード変換器が、テーパー導波路であることを特徴とする、請求項1から7のいずれか記載のコヒーレント光源。
- [9] 前記モード変換器が、テーパーファイバーであることを特徴とする、請求項1から7の

いずれか記載のコヒーレント光源。

- [10] 前記シングルモード導波路が、周期状の分極反転構造を有し、
前記半導体レーザからの光の一部が前記分極反転構造により波長変換されることを特徴とする、請求項1から9のいずれか記載のコヒーレント光源。
- [11] ワイドストライプの半導体レーザと、
前記半導体レーザからの光が結合される入射端面を有するテーパ導波路と、
前記テーパ導波路の出射端面側に形成されたシングルモード導波路と、
前記シングルモード導波路からの光の一部を通過させるバンドパスフィルターと、
前記バンドパスフィルターを通過した光を反射して、前記半導体レーザの活性層にフィードバックする反射体とを備え、
前記半導体レーザの発振モードは、前記フィードバックした光により制限されることを特徴とする、請求項8記載のコヒーレント光源。
- [12] 前記バンドパスフィルターが、ブラッグ反射グレーティングとして前記シングルモード導波路に一体化して形成されていることを特徴とする、請求項11記載のコヒーレント光源。
- [13] 前記シングルモード導波路が、非線形光学材料からなり、周期状の分極反転構造を有し、
前記半導体レーザからの光の一部は、前記分極反転構造により波長変換されていることを特徴とする、請求項11または12記載のコヒーレント光源。
- [14] ブラッグ反射グレーティングを備えたワイドストライプの半導体レーザと、
前記半導体レーザからの光が結合される入射端面を有するテーパ導波路と、
前記テーパ導波路の出射端面側に形成されたシングルモード導波路と、
前記シングルモード導波路からの光の一部を反射して、前記半導体レーザの活性層にフィードバックする反射体とを備え、
前記半導体レーザの発振モードは、前記フィードバックされた光により制限されることを特徴とするコヒーレント光源。
- [15] 前記シングルモード導波路が、非線形光学材料からなり、周期状の分極反転構造を有し、

前記半導体レーザからの光の一部が前記分極反転構造により波長変換されていることを特徴とする、請求項14記載のコヒーレント光源。

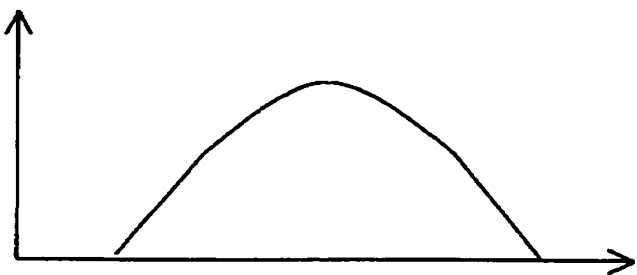
- [16] 前記シングルモード導波路の出射端面が基本波を反射し、かつ高調波透過するダイクロイックミラーを有することを特徴とする、請求項14または15記載のコヒーレント光源。
- [17] 前記ワイドストライプの半導体レーザの活性層幅が、 $100\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする、請求項1から16のいずれか一項記載のコヒーレント光源。
- [18] 前記半導体レーザの横モードが、フィードバックされた光により、ほぼシングルモード発振に固定されていることを特徴とする、請求項1から17のいずれか記載のコヒーレント光源。
- [19] 請求項1から18記載のいずれか記載のコヒーレント光源と画像変換光学系とを有し、前記コヒーレント光源からの光を前記光学系により2次元画像に変換することを特徴とする、光学装置。
- [20] 前記画像変換光学系が、2次元のビーム走査光学系を有することを特徴とする、請求項19記載の光学装置。
- [21] 前記画像変換光学系が、2次元スイッチを有することを特徴とする、請求項19記載の光学装置。



(a)

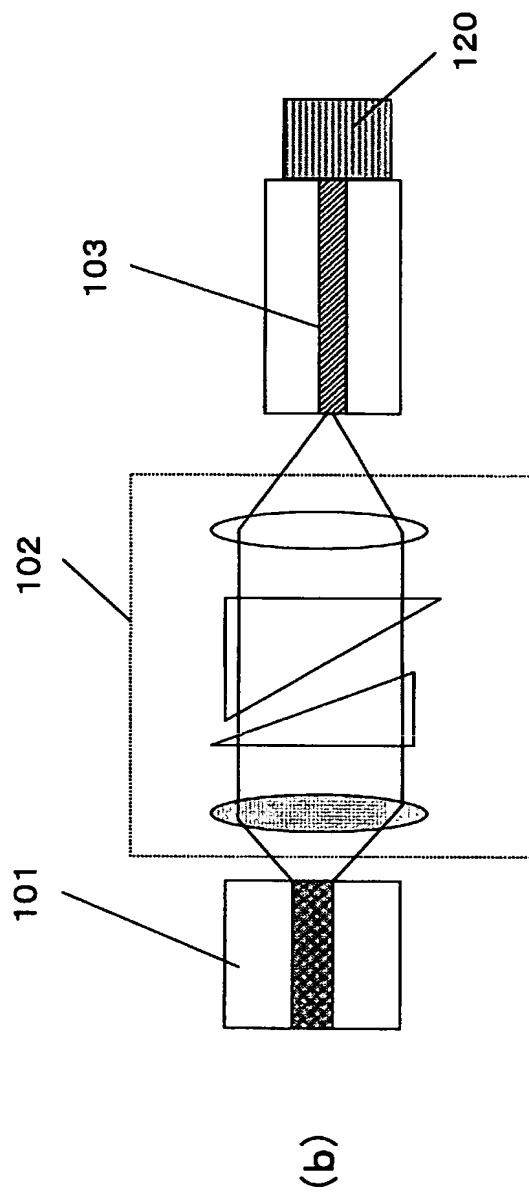
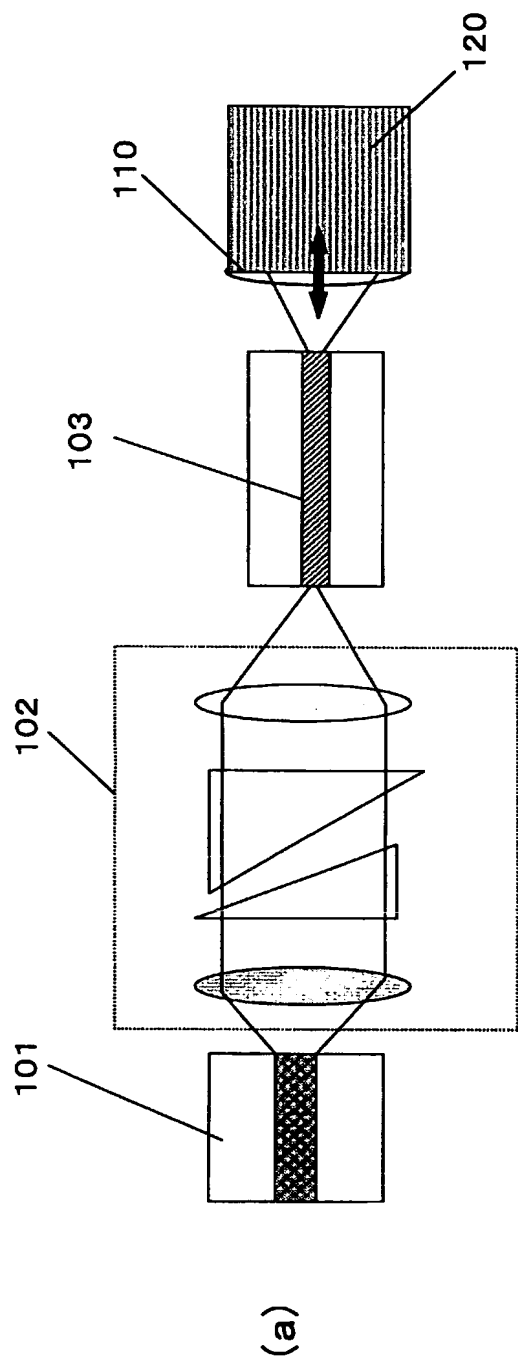


(b)

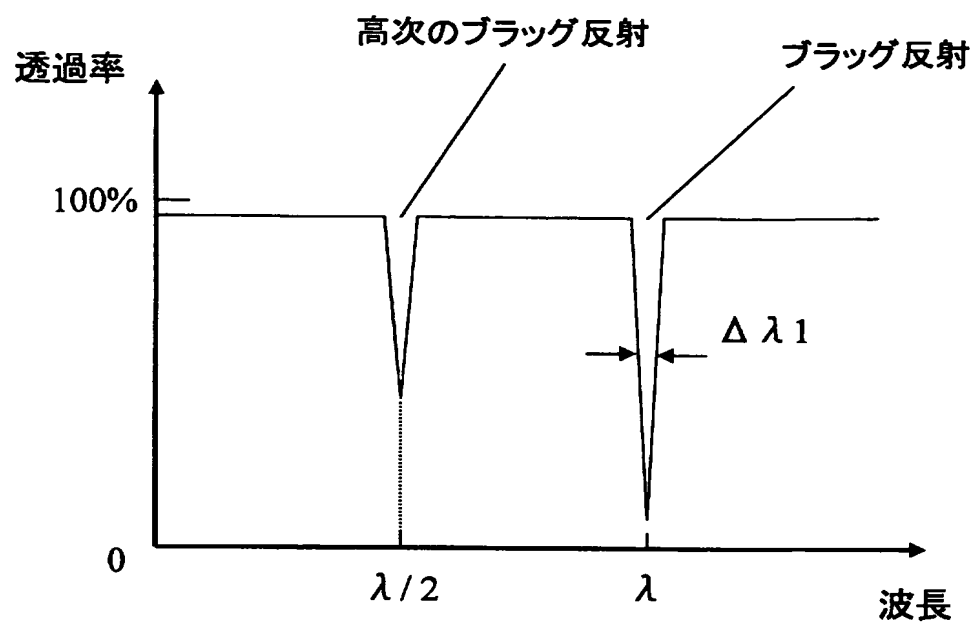


(c)

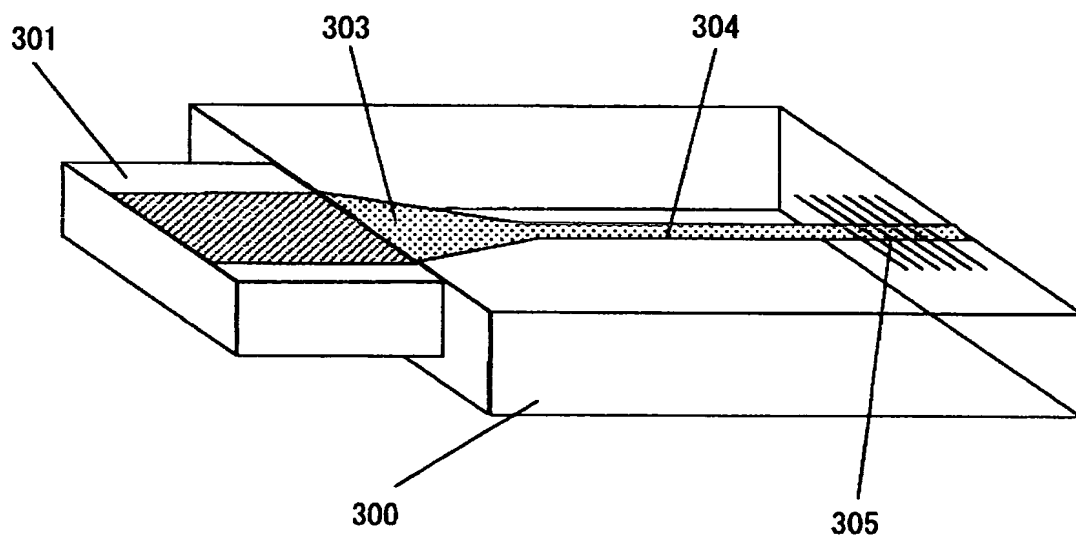
[図3]



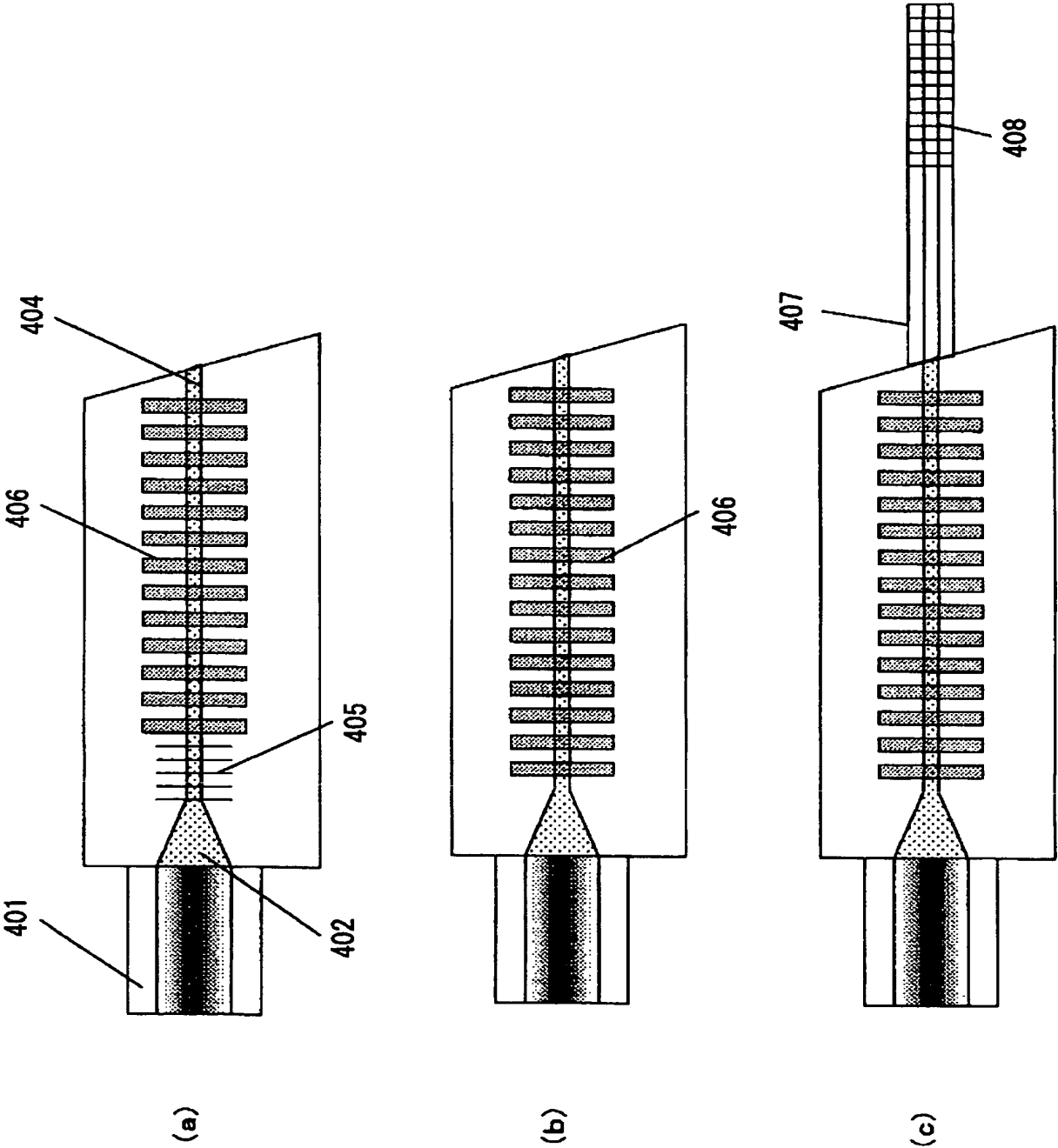
[図4]



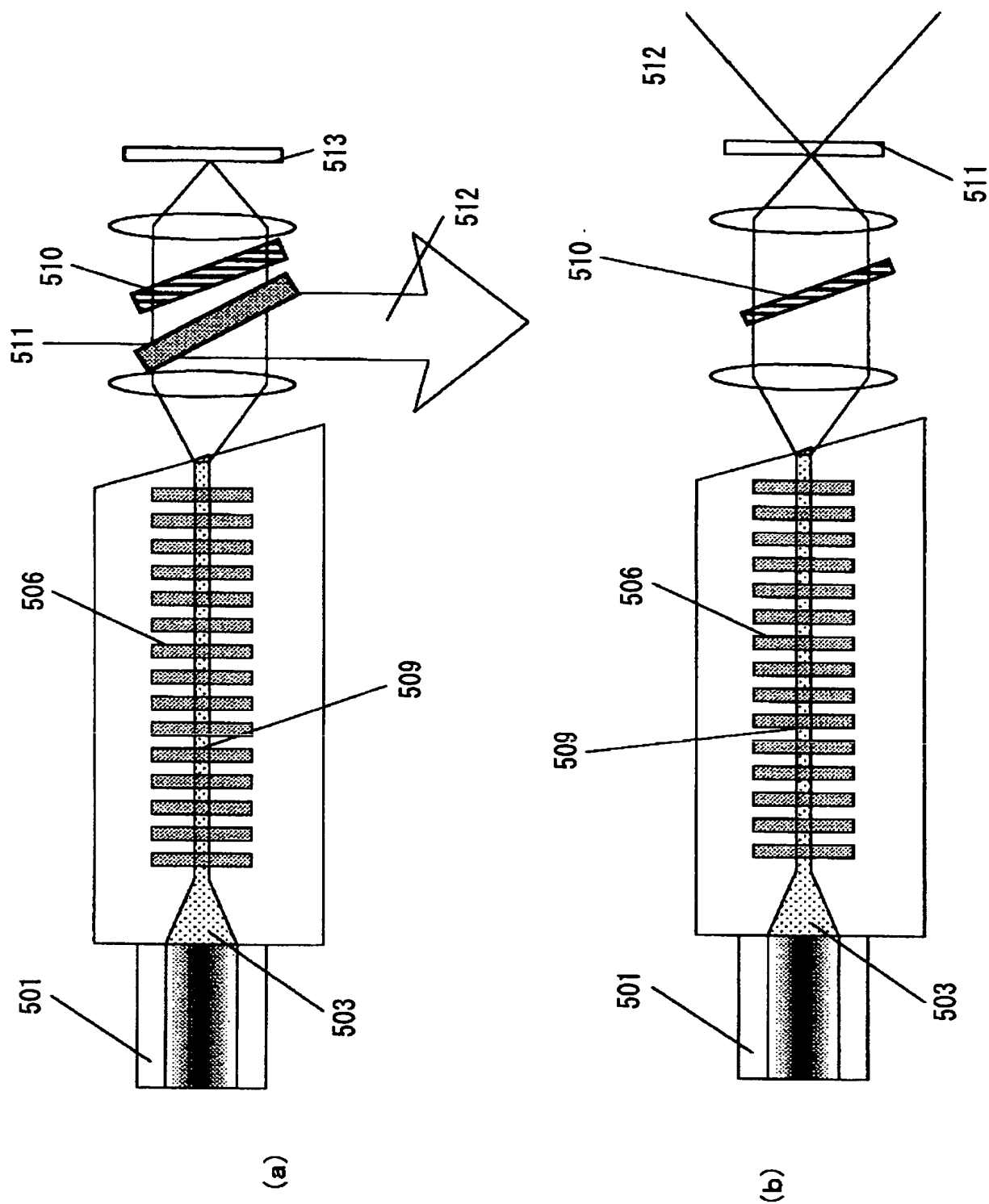
[図5]



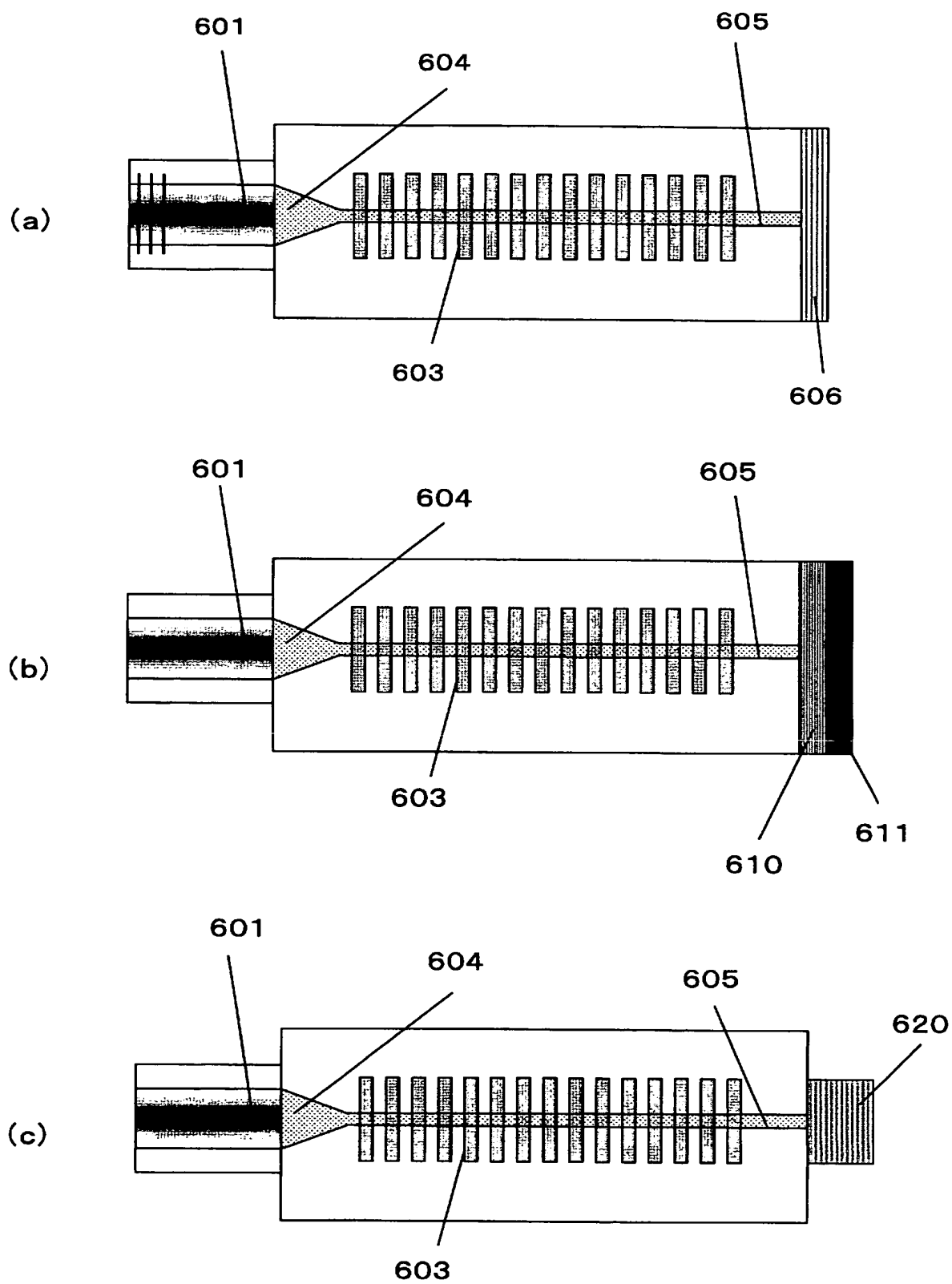
[図6]



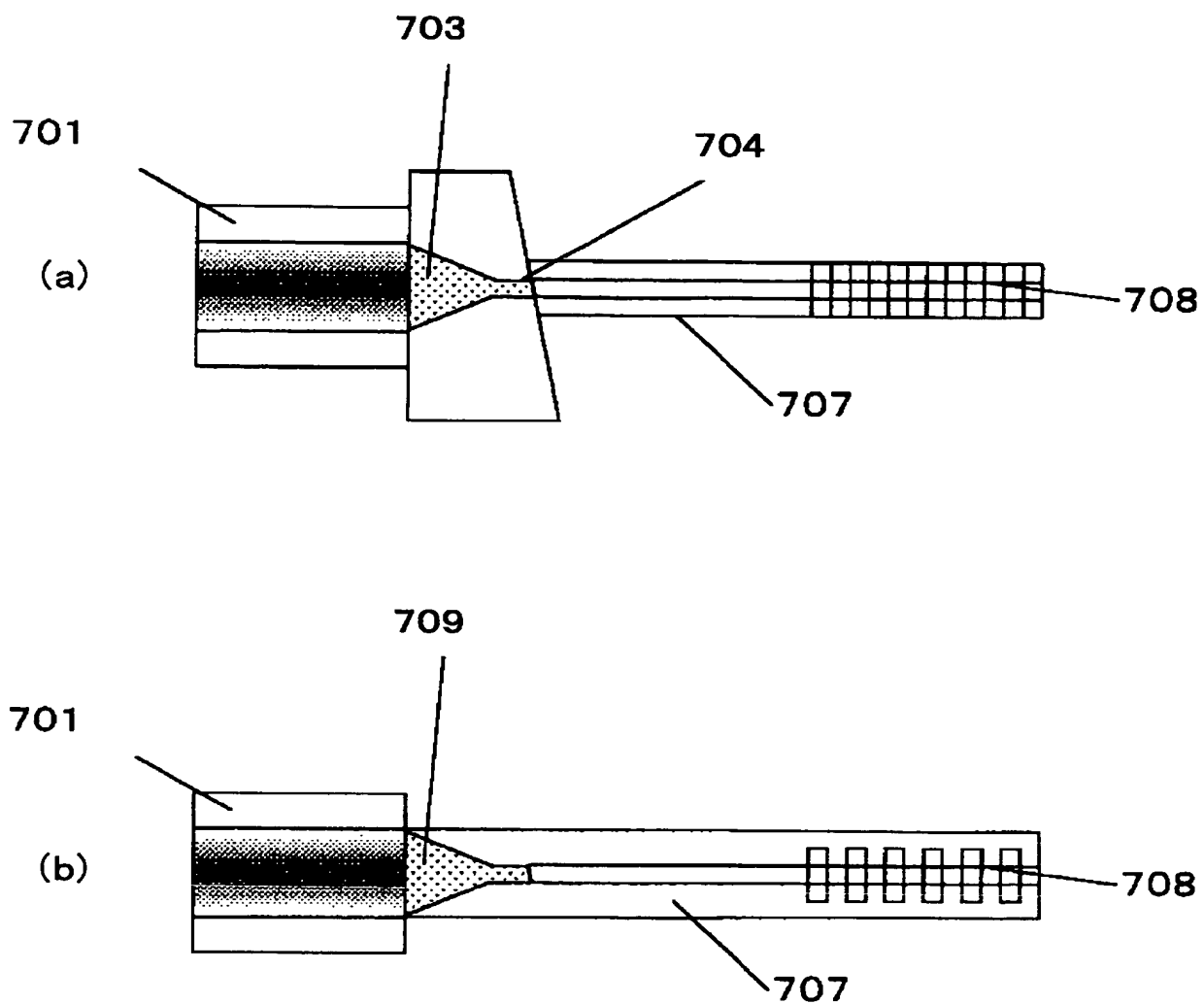
[図7]



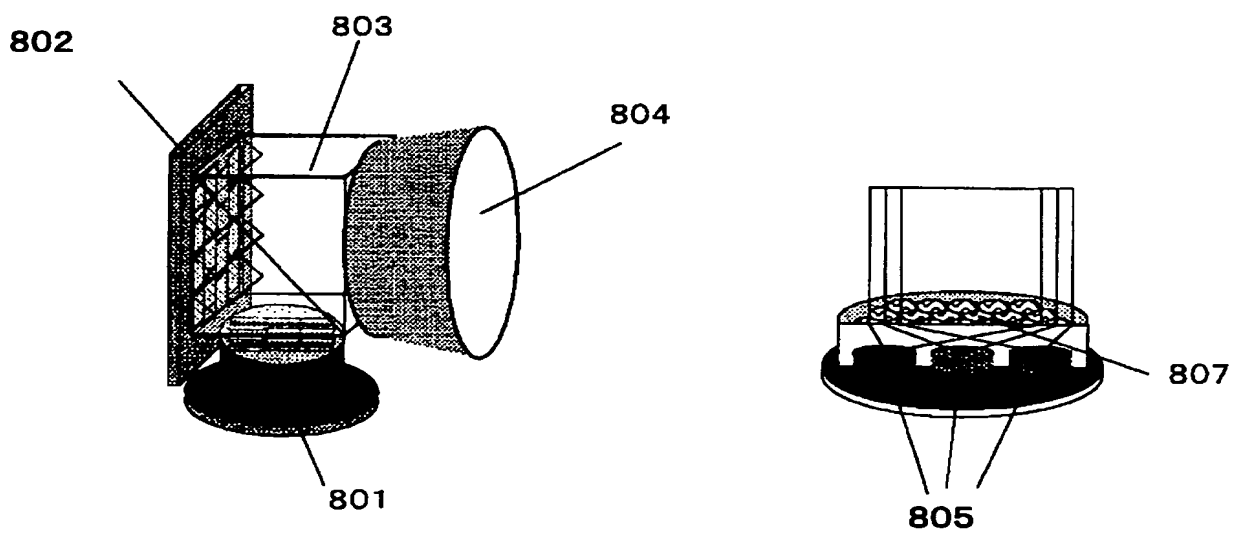
[図8]



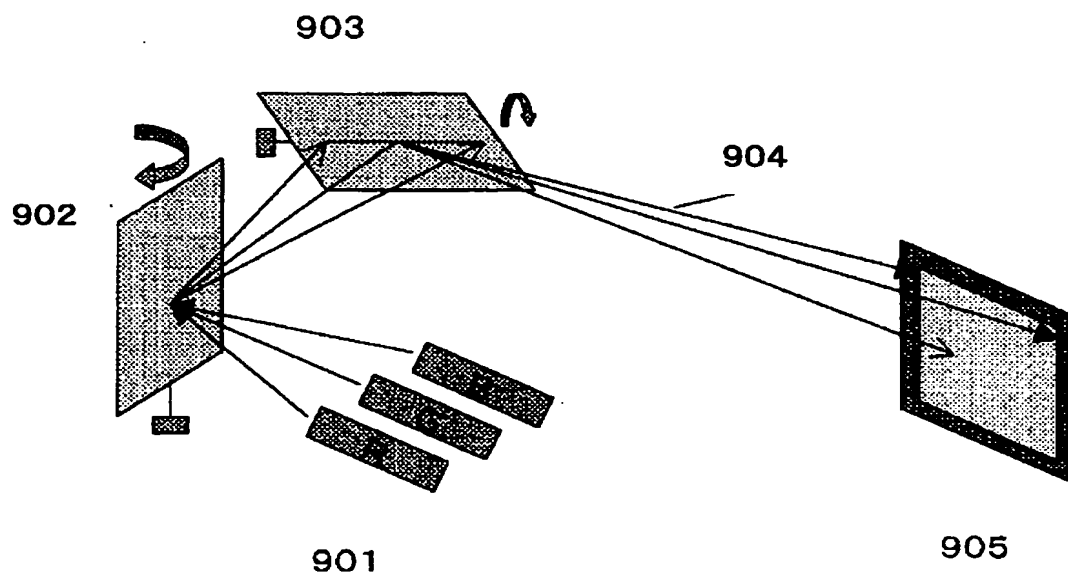
[図9]



[図10]



[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/004526

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ H01S5/14, G02B6/42

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H01S5/00-5/50, G02B6/42

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 9-186387 A (Matsushita Electronics Corp.), 15 July, 1997 (15.07.97), Par. Nos. [0008] to [0012], [0058] to [0059]; Figs. 4, 13 (Family: none)	1 2-21
Y	JP 2002-76512 A (Hitachi, Ltd.), 15 March, 2002 (15.03.02), Full text; all drawings (Family: none)	1-21
Y	JP 2003-168844 A (Mitsubishi Electric Corp.), 13 June, 2003 (13.06.03), Full text; all drawings & US 2003/0103544 A1 & EP 1318580 A2	1-21



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
20 June, 2005 (20.06.05)

Date of mailing of the international search report
05 July, 2005 (05.07.05)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/004526

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 6-102553 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 15 April, 1994 (15.04.94), Par. Nos. [0015] to [0036]; Fig. 9 (Family: none)	2,4,5,10-13, 15
Y	JP 2003-110192 A (Fuji Photo Film Co., Ltd.), 11 April, 2003 (11.04.03), Par. Nos. [0018] to [0024]; Fig. 1 (Family: none)	3
Y	JP 2001-284734 A (Fuji Photo Film Co., Ltd.), 12 October, 2001 (12.10.01), Par. Nos. [0030] to [0034]; Fig. 3 (Family: none)	7,14-21
Y	JP 4-287389 A (NEC Corp.), 12 October, 1992 (12.10.92), Full text; all drawings (Family: none)	7,14-21
Y	JP 8-264872 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 11 October, 1996 (11.10.96), Full text; all drawings (Family: none)	8,14-21
Y	JP 9-283847 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 31 October, 1997 (31.10.97), Par. No. [0043]; Fig. 8 & US 5845030 A & EP 1152504 A1	8,9
Y	JP 10-27946 A (Hitachi, Ltd.), 27 January, 1998 (27.01.98), Par. Nos. [0054] to [0058]; Fig. 7 (Family: none)	19,21
Y	JP 2000-305036 A (Fuji Photo Film Co., Ltd.), 02 November, 2000 (02.11.00), Par. Nos. [0016] to [0021]; Fig. 1 (Family: none)	20,21

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ H01S5/14, G02B6/42

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ H01S5/00-5/50, G02B6/42

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y	JP 9-186387 A (松下電子工業株式会社) 1997.07.15, 【0008】-【0012】欄, 【0058】-【0059】欄, 図4, 図13 (ファミリーなし)	1 2-21
Y	JP 2002-76512 A (株式会社日立製作所) 2002.03.15, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-21

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 参考文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に関する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

20.06.2005

国際調査報告の発送日

05.7.2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

土屋 知久

2K

8826

電話番号 03-3581-1101 内線 3255

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 2003-168844 A (三菱電機株式会社) 2003.06.13, 全文, 全図 & US 2003/0103544 A1 & EP 1318580 A2	1-21
Y	JP 6-102553 A (松下電器産業株式会社) 1994.04.15, 【0015】 - 【0036】 欄, 図9 (ファミリーなし)	2, 4, 5, 10-13, 15
Y	JP 2003-110192 A (富士写真フイルム株式会社) 2003.04.11, 【0018】 - 【0024】 欄, 図1 (ファミリーなし)	3
Y	JP 2001-284734 A (富士写真フイルム株式会社) 2001.10.12, 【0030】 - 【0034】 欄, 図3 (ファミリーなし)	7, 14-21
Y	JP 4-287389 A (日本電気株式会社) 1992.10.12, 全文, 全図 (ファミリーなし)	7, 14-21
Y	JP 8-264872 A (日本電信電話株式会社) 1996.10.11, 全文, 全図 (ファミリーなし)	8, 14-21
Y	JP 9-283847 A (住友電気工業株式会社) 1997.10.31, 【0043】 欄, 図8 & US 5845030 A & EP 1152504 A1	8, 9
Y	JP 10-27946 A (株式会社日立製作所) 1998.01.27, 【0054】 - 【0058】 欄, 図7 (ファミリーなし)	19, 21
Y	JP 2000-305036 A (富士写真フイルム株式会社) 2000.11.02, 【0016】 - 【0021】 欄, 図1 (ファミリーなし)	20, 21

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☒ FADED TEXT OR DRAWING

☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☒ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.